

# **HAZAI LOMBOSFÁK JUVENILIS (BÉL KÖRÜLI) FAANYAGÁNAK ANATÓMIAI ÉS FIZIKAI SAJÁTOSSÁGAI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A HAZAI ERDŐGAZDÁLKODÁSI VISZONYOKRA**

**2005-2007**

**AG\_48954**

## **KÍSÉRLETEKHEZ HASZNÁLT ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK ISMERTETÉSE**

A fa mint alapanyag már hosszú évezredek óta kíséri az emberiség fejlődését. A mai fogyasztói társadalomban a faanyag felhasználása is növekszik. Ezért a faipar törekszik a kihozatal növelésére. Ennek egyik lehetősége, hogy a faanyag kisebb értékű részét is hasznosítsák. A bélkörüli faanyag (juvenilisfa) is a fa azon része, melyet az asztalos mesterek nem szívesen használnak fel. A faanyag eme belső részének vizsgálatát csak az utóbbi évtizedekben kutatták részletesebben, a kutatások főleg a fenyőkre irányultak. A lombos fafajok juvenilis farészeinek tulajdonságaira kevés adat áll rendelkezésünkre. A lombos fafajok bonyolultabb szerkezete miatt nehezebben találhatóak a juvenilisfa és a geszt tulajdonságai között olyan egyértelmű összefüggések mint a fenyőknél. Ezért ebben az OTKA kutatásban azt tűztük ki célul, hogy a hazai erdőgazdálkodásban jelentős lombos fafajok fontosabb anatómiai és fizikai paramétereit megvizsgálva megpróbálunk eltéréseket kimutatni az érettfá (geszt) és a juvenilisfa között. A vizsgálatokban 5 féle lombos fafajt vizsgáltunk, 3 gyűrűslikacsú- (kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), csertölgy (*Quercus cerris*), akác (*Robinia pseudoacacia*)) és 2 szórtlikacsú fafajt (bükk (*Fagus silvatica*), nyár 'I-214' (*Populus*)). A vizsgálatokhoz 1-1 külsőleg egészséges és egyéb fahibáktól mentes törzset választottunk. A rönk végétől korongot vágunk, ezen végeztük el az évgyűrűelemzést valamint az anatómiai vizsgálatokat. A rönk többi részét pedig szárítás után a mechanikai és fizikai tulajdonságok mérésekhez használtuk fel.

### **Anatómiai vizsgálatok**

A mintatörzsekből kivett korongokon meghatároztuk az átlag átmérőt és innen vettünk mintát az anatómiai vizsgálatokhoz. Az átlag átmérő mentén végeztük az évgyűrűelemzést, mértük a korai-kései pászta arányát a gyűrűslikacsú fák esetén.

A kivett mintákból először a farostok hosszúságát határoztuk meg, mivel ez alapján megállapítható a juvenilisfa-érettfá rész határa. A vizsgálatoknál az első 30 évgyűrűnél 2 évenként, míg a többi farészben 5 évenként mértük a rosthosszúságot. A rosthosszúság méréshez a kései pászta alapszövetében a farostok közti középlemezt Jeffry oldattal feloldottuk, majd egy mikroszkóppal egybeépített számítógépes mérőrendszerrel határoztuk meg a farostok hosszát.

A további anatómiai vizsgálatokhoz mikroszkópos metszeteket készítettünk és ezen mértük, az edények átmérőjét, a farostok falvastagságát, illetve az edények, bélsugarak és farostok terület arányát a keresztmetszethez viszonyítva (3. melléklet).

## Mechanikai tulajdonságok mérése

A mechanikai és fizikai tulajdonságok méréséhez a rönköket pallókra vágtuk, majd leszártítottuk 12%-os nedvesség tartalomra. A leszártított faanyagból alakítottuk ki a próbatesteket úgy, hogy a rönk teljes keresztmetszetét 10x10x1000 (sugár-, húr-, rost irány) mm-es rudacskákra osztottuk fel (2. melléklet). Ezeket a rudacskákat vágtuk fel hosszában a különböző mérésekhez. A próbatestek jelölésére a 1. mellékleten közölt jelölésrendszert használtuk.

A mechanikai mérésekhez az előkészített anyagokat a mérések előtt klímaszekrényben pihentettük (20 °C; 65 relatív páratartalom). A statikus mechanikai vizsgálatokhoz (nyomó-, hajlító-, húzószilárdság mérés) általános anyagvizsgáló gépet (4. melléklet), míg a dinamikus mechanikai vizsgálatához (ütő-hajlító szilárdság mérés) Charpy-féle ütőművet (5. melléklet) használtunk.

A **nyomószilárdság** méréshez 10x10x15 (sugár-, húr-, rost irány) mm próbatesteket (6. melléklet) használtunk. A nyomószilárdság kiszámításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$\sigma_{ny} = \frac{F_{\max}}{A} [MPa]$$

ahol:  
 $\sigma_{ny}$ : nyomószilárdság [MPa]  
 $F_{\max}$ : maximális törőerő [N]  
A: próbatest keresztmetszete [mm<sup>2</sup>]

A **hajlítószilárdság** méréséhez 10x10x150 (sugár-, húr-, rost irány) mm-es próbatesteket (6. melléklet) használtunk, az alátámasztási köz 120 mm volt. A próbatesteken a hajlítószilárdság mérésén kívül mértük a hajlító rugalmassági moduluszt is. A hajlítószilárdság kiszámításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$\sigma_{haj} = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l}{2 \cdot a \cdot b^2} [MPa]$$

ahol:  
 $\sigma_{haj}$ : hajlítószilárdság [MPa]  
 $F_{\max}$ : maximális törőerő [N]  
l: alátámasztási köz (120 mm)  
a: próbatest szélessége [mm]  
b: próbatest vastagsága [mm]

A hajlító rugalmassági moduluszt a következő összefüggéssel számítottuk ki:

$$E = \frac{l^3}{4 \cdot a \cdot b^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta y} [MPa]$$

ahol:  
E: hajlító rugalmassági modulus [MPa]  
l: alátámasztási köz (120 mm)  
a: próbatest szélessége [mm]  
b: próbatest vastagsága [mm]  
 $\Delta F$ : a rugalmassági határon belül mért erő különbség [N]  
 $\Delta y$ : a  $\Delta F$ -hez tartozó lehajlás értéke [mm]

A **húzószilárdság** méréséhez 10x10 (sugár-, húr irány) mm keresztmetszetű befogó részű és 130 (rost irány) mm hosszú próbatesteket (6. melléklet) használtunk. A próbatestek középső részét a vizsgálatokhoz kikönytyítettük, a középrész nyár esetén 3x10 mm, többi fafaj esetén 3x3 mm. A húzószilárdság kiszámításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$\sigma_h = \frac{F_{\max}}{A} [MPa]$$

ahol:  $\sigma_{ny}$ : húzószilárdság [MPa]  
 $F_{\max}$ : maximális törőerő [N]  
 $A$ : próbatest keresztmetszete [mm<sup>2</sup>]

Az **ütő-hajlító szilárdság** méréséhez 10x10x130 (sugár-, húr-, rost irány) mm-es próbatestet (6. melléklet) használtunk, az alátámasztási köz 80 mm volt. Az ütő-hajlítószilárdság kiszámításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$w = \frac{a}{A} [J / cm^2]$$

ahol:  $w$ : ütő-hajlítószilárdság [J/cm<sup>2</sup>]  
 $a$ : törő munka [J]  
 $A$ : próbatest keresztmetszete [cm<sup>2</sup>]

## Fizikai tulajdonságok vizsgálata

A fizikai mérések közül az abszolút száraz sűrűséget és a zsugorodási érték meghatározását végeztük el. A méréshez 10x10x15 (sugár-, húr-, rost irány) mm-es próbatesteket (6. melléklet) használtunk. Mindkét vizsgálatot ugyanazon próbatesten végeztük el. A méréshez az anyagot tömegállandóságig szárítottuk (105 °C-on), majd megmértük a tömegét és a befoglaló méreteket. Ezután az átlagos átmérő és az arra merőleges átmérő mentén két-két sor próbatestet vízbe (20 °C-os) helyeztünk 2 hétig. A vízből kivéve ismét megmértük a befoglaló méreteit. Az abszolút száraz sűrűség kiszámításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

ahol:  $\rho_0$ : abszolút száraz sűrűség [g/cm<sup>3</sup>]  
 $m_0$ : abszolút száraz tömeg [g]  
 $V_0$ : abszolút száraz térfogat [cm<sup>3</sup>]

A zsugorodási érték kiszámításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$Z_{h,s,r} = \frac{l_u - l_0}{l_u} \cdot 100 [\%]$$

ahol:  $Z_{h,s,r}$ : vonalas zsugorodási érték (húr, sugár, rost) [%]  
 $l_u$ : nedves méret [mm]  
 $l_0$ : abszolút száraz méret [mm]

# KUTATÁSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

## Akác mérési eredményeinek kiértékelése

Az akác mintatörzs 35 éves volt, a külső 2 évgyűrű alkotta a szijácsot. A rosthosszúságmérés alapján a juvenilisfa határa a 12-14 évgyűrűnél állapítható meg, ez kb. az átmérő 1/3-a. A farostok hossza átlagosan a bél közelében 0,70 mm, mely a kéreg felé haladva emelkedik és 1,05-1,10 mm körül állandósul (1. ábra). A farostok falvastagságánál szintén hasonló jelenség figyelhető meg, a bél közelében 3,20-3,25  $\mu\text{m}$ , mely 3,85-4,00  $\mu\text{m}$  körül állandósul a 11-13. évgyűrű táján (2. ábra). Az edények a gyűrűslikacsú fák jellegét mutatják, azonban érdekes, hogy az első évben a szórtlikacsúakra jellemző tulajdonságok figyelhetők meg (az edények mérete kisebb és az évgyűrűben egyenletesen elszórtan helyezkednek el). A korai pászta edényátmérőit vizsgálva is megfigyelhető, hogy az átlagos edényátmérő az első évgyűrűben nagyon alacsony kb. 70  $\mu\text{m}$  (ez a szórtlikacsú jelleggel magyarázható). A második évgyűrűben az átlagos edényátmérő már kb. 135  $\mu\text{m}$ , mely a kéreg felé haladva emelkedést mutat és a 12-13. évgyűrű körül állandósul 190-205  $\mu\text{m}$  mérettel (3. ábra). A fontosabb anatómiai elemek arányát megfigyelve nem találtunk jelentős különbségeket az átmérő mentén haladva, az első évgyűrűt leszámítva ahol az edények aránya nagyon alacsony kb. 1,5%, ebből adódóan a farostok aránya itt igen magas. A különböző sejtek a következő arányban találhatók a keresztmetszeten: edények 11-17%, bélsugarak 20-24%, farostok 52-63% (4. ábra). Az évgyűrűelemzést elvégezve nem találtunk különbséget a juvenilisfa és az érett geszt között. Az évgyűrűkben a korai pászta mérete közel azonos 0,45-1,15 mm, míg a kései pásztáé 0,8-4,6 mm.

A belső farész sűrűségét vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a bél és a körülötte lévő 2-3 évgyűrű sűrűsége kisebb (600-750  $\text{kg/m}^3$ ), mint az érett farész többi részében (750-850  $\text{kg/m}^3$ ) (9. ábra). A hajlítószilárdság mérésénél is megfigyelhető volt a sűrűségmérésnél tapasztalt tendencia. A nyomószilárdság a bélnél alacsonyabb (kb. 62 MPa), az érett farész többi részén 70-90 MPa között változik (10. ábra). Az ütés-hajlító szilárdság értékei nagyon nagy mértékű változékonyságot mutatnak, az értékek 2-14  $\text{J/cm}^2$  között változnak, de itt is a bélnél volt mérhető a legalacsonyabb érték (11. ábra). A húzószilárdság értékei 110-160 MPa között változnak, és a bél közelében itt is alacsonyabbak a mért értékek. A zsugorodási értékeknél megfigyelhető, hogy az érett farészen belül az eltérések kis mértékűek, azonban a bélhez közeledve az évgyűrűk görbülete miatt nem függetleníthető egymástól a sugár és a húr irányú érték (a húrirányú zsugorodás kétszerese a sugár irányú zsugorodásnak).

## Kocsánytalan tölgy mérési eredményeinek kiértékelése

A kocsánytalan tölgy mintatörzs 85 éves volt, a külső 4 évgyűrű alkotta a szijácsot. A rosthosszúságmérés alapján a juvenilisfa határa a 10-12 évgyűrűnél állapítható meg, ez kb. az átmérő 1/5-e. A farostok hossza átlagosan a bél közelében 0,80 mm, mely a kéreg felé haladva emelkedik és 1,20-1,28 mm körül állandósul (1. ábra). A farostok falvastagságánál szintén hasonló jelenség figyelhető meg, a bél közelében 3,40-3,50  $\mu\text{m}$ , mely 4,30-4,60  $\mu\text{m}$  körül állandósul a 10-11. évgyűrű táján (2. ábra). Az edények a gyűrűslikacsú fák jellegét mutatják, azonban érdekes, hogy az első évben (az akáchoz hasonlóan) a szórtlikacsúakra jellemző tulajdonságok figyelhetők meg (az edények mérete kisebb és az évgyűrűben egyenletesen elszórtan helyezkednek el). A korai pászta edényátmérőit vizsgálva is megfigyelhető, hogy az átlagos edényátmérő az első évgyűrűben kb. 120  $\mu\text{m}$ , mely a kéreg felé haladva emelkedést mutat és a 9-10. évgyűrű körül állandósul 225-260  $\mu\text{m}$  mérettel (3. ábra). A fontosabb anatómiai elemek arányát megfigyelve nem találtunk jelentős

különbségeket az átmérő mentén haladva, az első évgűrűt leszámítva ahol az edények aránya nagyon alacsony kb.3%, ebből adódóan a farostok aránya itt igen magas. A különböző sejtek a következő arányban találhatók a keresztmetszeten: edények 8-16%, bélsugarak 23-30%, farostok 52-62% (5. ábra). Az évgűrűelemzést elvégezve azt tapasztaltuk, hogy az első 15-17 évben az évgűrűszélesség emelkedik (3,0-4,5 mm évi sugár növekedés), ezután lassan csökken, majd 25 évgűrű után 1-2 mm évi sugár növekedésnél állandósul. Az évgűrűkben a korai pászta mérete közel azonos 0,45-1,15 mm, míg a kései pásztáé 0,7-4,6 mm.

A belső farész sűrűségét vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a bél körül lévő évgűrűkben és az érett geszt belső részének is azonos a sűrűsége ( $750-850 \text{ kg/m}^3$ ). A 20-22. évgűrűtől a szíjács felé haladva azonban a sűrűség csökken és a geszt szélén már csak  $600-650 \text{ kg/m}^3$  (12. ábra). A nyomószilárdság mérésénél is megfigyelhető volt a sűrűségmérésnél tapasztalt tendencia, azzal a különbséggel, hogy itt a bél körüli 2-3 évgűrűnél kissé alacsonyabb a szilárdság (13. ábra). Az üto-hajlító-, és a hajlítószilárdság értékei nagyon nagy mértékű változékonyságot mutatnak (üto-hajlító szilárdság:  $1,8-5,4 \text{ J/cm}^2$ , hajlítószilárdság:  $75-145 \text{ MPa}$ ), de a bél körüli évgűrűk szilárdsági értékei közt vannak nagyon alacsonyak. A húzószilárdság értékei  $110-160 \text{ MPa}$  között változnak és a bél közelében itt is alacsonyabbak a mért értékek. A zsugorodási értékek a sűrűséghez hasonló tendenciákat mutatnak, de itt is tapasztalható, hogy a bélhez közeledve az évgűrűk görbülete miatt nem függetleníthetők egymástól a sugár és a húr irányú értékek egymásra hatása (a húrirányú zsugorodás kétszerese a sugár irányú zsugorodásnak).

## Csertölgy mérési eredményeinek kiértékelése

A csertölgy mintatörzs 80 éves volt, a külső 19 évgűrű alkotta a szíjácsot. A rosthosszúságmérés alapján a juvenilisfa határa a 12-14 évgűrűnél állapítható meg, ez kb. az átmérő 1/5-e. A farostok hossza átlagosan a bél közelében 0,70 mm, mely a kéreg felé haladva emelkedik és 1,12-1,18 mm körül állandósul (1. ábra). A farostok falvastagságánál szintén hasonló jelenség figyelhető meg, a bél közelében  $3,80-3,90 \mu\text{m}$ , mely  $5,25-5,70 \mu\text{m}$  körül állandósul a 10-11. évgűrű táján (2. ábra). Az edények a gyűrűlikacsú fák jellegét mutatják, azonban érdekes, hogy az első évben (az akáchoz és a kocsányos tölgyhöz hasonlóan) a szörtlikacsúakra jellemző tulajdonságok figyelhetők meg (az edények mérete kisebb és az évgűrűben egyenletesen elszórtan helyezkednek el). A korai pászta edényátmérőit vizsgálva is megfigyelhető, hogy az átlagos edényátmérő az első évgűrűben kb.  $150 \mu\text{m}$ , mely a kéreg felé haladva emelkedést mutat és a 8-10. évgűrű körül állandósul  $225-260 \mu\text{m}$  mérettel (3. ábra). A fontosabb anatómiai elemek arányát megfigyelve nem találtunk jelentős különbségeket az átmérő mentén haladva, az első évgűrűt leszámítva ahol az edények aránya nagyon alacsony kb.2%, ebből adódóan a farostok aránya itt igen magas. A különböző sejtek a következő arányban találhatók a keresztmetszeten: edények 10-17%, bélsugarak 21-28%, farostok 41-53% (6. ábra). Az évgűrűelemzést elvégezve azt tapasztaltuk, hogy az első 15-17 évben az évgűrűszélesség emelkedik (3,0-4,0 mm évi sugár növekedés), ezután lassan csökken a szíjács irányába. Az évgűrűkben a korai pászta mérete közel azonos 0,3-0,7 mm, míg a kései pásztáé 0,7-4,6 mm.

A belső farész sűrűségét vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a bél körül lévő évgűrűknek és az érett gesztnek is azonos a sűrűsége ( $750-850 \text{ kg/m}^3$ ) (14. ábra). A nyomószilárdságnál megfigyelhető volt, hogy a nyomószilárdsági értékek a bélkörüli 20 évgűrűnél alacsonyabbak ( $40-55 \text{ MPa}$ ), mint a geszt többi részén ( $60-67 \text{ MPa}$ ) (15. ábra). Az üto-hajlító szilárdság értékei közt nagy eltérések vannak ( $0,5-8,0 \text{ J/cm}^2$ ) és a bél körüli 10-15 évgűrű értékei a legalacsonyabbak a geszten belül (16. ábra). A hajlító- és a húzószilárdság értékei is változékonyságot mutatnak (hajlítószilárdság:  $40-140 \text{ MPa}$ ; húzószilárdság:  $85-160 \text{ MPa}$ ), de

nem állapítható meg olyan terület a geszten belül ahol az értékek egységesen alacsony értékkel rendelkeznek. A zsugorodási értékek a sűrűséghez hasonló tendenciákat mutatnak, de itt is tapasztalható, hogy a bélhez közeledve az évgyűrűk görbülete miatt nem függetleníthetők egymástól a sugár és a húr irányú értékek egymásra hatása (a húrirányú zsugorodás kétszerese a sugár irányú zsugorodásnak).

## **Bükk mérési eredményeinek kiértékelése**

A bükk mintatörzs 88 éves volt és nem tartalmazott álgesztet. A rosthosszúságmérés alapján a juvenilisfa határa a 18-20 évgyűrűnél állapítható meg, ez kb. az átmérő 1/5-e. A farostok hossza átlagosan a bél közelében 0,75 mm, mely a kéreg felé haladva emelkedik és 0,98-1,06 mm körül állandósul (1. ábra). A farostok falvastagságánál szintén hasonló jelenség figyelhető meg, a bél közelében 4,50-4,60  $\mu\text{m}$ , mely 6,60-7,10  $\mu\text{m}$  körül állandósul a 17-19. évgyűrű táján (2. ábra). Az edények a szórtlikacsú fák jellegét mutatják. Az évgyűrűk edényátmérőit vizsgálva megfigyelhető, hogy az átlagos edényátmérő 32-50  $\mu\text{m}$  körüli érték, a bétől a kéreg felé haladva tapasztalható nagyon kis mértékű méret növekedés (3. ábra). A fontosabb anatómiai elemek arányát megfigyelve nem találtunk jelentős különbségeket az átmérő mentén haladva. A különböző sejtek a következő arányban találhatók a keresztmetszeten: edények 22-27%, bélsugarak 24-29%, farostok 41-49% (7. ábra). Az évgyűrűelemzést elvégezve azt tapasztaltuk, hogy a fatesten belül nem állapítható meg egyértelmű változás az évgyűrűségeiben és az értékek tág határok közt változnak (1,0-4,5 mm).

A sűrűségét vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a fatest jelentős részén közel azonos a sűrűség értéke (550-650  $\text{kg/m}^3$ ), viszont egy kis területen jelentősen magasabb (750-800  $\text{kg/m}^3$ ), de ez nem hozható összefüggésbe a bélkörülű farésszel (17. ábra). A nyomószilárdság értékei között nem találtunk jelentős eltérést az évgyűrűn belül (55-65 MPa) azonban, megfigyelhető, hogy ahol a sűrűség magasabb volt ott magasabb a nyomószilárdság is (18. ábra). Az üto-hajlító-, a hajlító- és a húzószilárdság értékei nagy változékonyságot mutatnak, de hasonlóan itt is a sűrűbb területeken magasabb a szilárdság. A bél körüli első 20-30 évgyűrűnél alacsonyabb szilárdsági értékek voltak tapasztalhatóak. Az üto-hajlító szilárdságértéke 1,0-6,5  $\text{J/cm}^2$  (19. ábra), a hajlítószilárdságé 85-130 MPa; a húzószilárdságé 55-90 MPa. A zsugorodási értékek a sűrűséghez hasonló tendenciákat mutatnak, de itt is tapasztalható, hogy a bélhez közeledve az évgyűrűk görbülete miatt nem függetleníthetők egymástól a sugár és a húr irányú értékek egymásra hatása (a húrirányú zsugorodás kétszerese a sugár irányú zsugorodásnak).

## **Nyár mérési eredményeinek kiértékelése**

A nyár mintatörzs 28 éves volt és nem tartalmazott álgesztet. A rosthosszúságmérés alapján a juvenilisfa határa a 10-12 évgyűrűnél állapítható meg, ez kb. az átmérő 1/2-e. A farostok hossza átlagosan a bél közelében 0,83 mm, mely a kéreg felé haladva emelkedik és 1,17-1,28 mm körül állandósul (1. ábra). A farostok falvastagságánál nem tapasztaltunk kimutatható eltérést a fatesten belül. A farostok falvastagsága átlagosan 2,20-2,50  $\mu\text{m}$  körüli érték volt (2. ábra). Az edények a szórtlikacsú fák jellegét mutatják. Az évgyűrűk edényátmérőit vizsgálva megfigyelhető, hogy az átlagos edényátmérő 30-50  $\mu\text{m}$  körüli érték, a bétől a kéreg felé haladva tapasztalható nagyon kis mértékű méretnövekedés (3. ábra). A fontosabb anatómiai elemek arányát megfigyelve nem találtunk jelentős különbségeket az átmérő mentén haladva. A különböző sejtek a következő arányban találhatók a keresztmetszeten: edények 24-29%, bélsugarak 24-30%, farostok 42-49% (8. ábra). Az évgyűrűelemzést elvégezve azt

tapasztaltuk, hogy a fatesten belül nem figyelhető meg egyértelmű változás az évgyűrűszélességben és az értékek tág határok közt változnak (3-10 mm).

A sűrűségét vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a teljes fatesten belül közel azonos a sűrűség értéke (350-450 kg/m<sup>3</sup>) (20. ábra), de a bél körüli 1-2 évgyűrűben ennél kicsit magasabb (470-550 kg/m<sup>3</sup>). A nyomószilárdság értékei között nem találtunk jelentős eltérést az évgyűrűn belül (30-40 MPa, néhány kiugró értéken kívül) (21. ábra). Az ütő-hajlító-, a hajlító- és a húzószilárdság értékei nagy változékonyságot mutatnak (ütő-hajlító szilárdság: 1,0-4,0 J/cm<sup>2</sup>, hajlítószilárdság: 55-90 MPa; húzószilárdság: 35-60 MPa), azonban nem állapítható meg olyan terület a fatesten belül ahol az értékek egységesen alacsony vagy magas értéket mutatnának. A zsugorodási értékek a sűrűséghez hasonló tendenciákat mutatnak, de itt is tapasztalható, hogy a bélhez közeledve az évgyűrűk görbülete miatt nem függetleníthetők egymástól a sugár és a húr irányú értékek egymásra hatása (a húrirányú zsugorodás kétszerese a sugár irányú zsugorodásnak).

## ÖSSZEGZÉS

Kutatómunkánk eredményeként megállapítottuk, hogy mind a szórtlikacsú (bükk - *Fagus silvatica*, nyár *Populus 'I-214'*) mind a gyűrűslikacsú fák (kocsánytalan tölgy - *Quercus petraea*, csertölgy - *Quercus cerris*, akác (*Robinia pseudoacacia*) esetén farostok hosszúsága, falvastagsága, edényeinek (gyűrűslikacsú fáknál a korai pászta edényeinek) átmérője a beltől a juvenilis határ felé haladva emelkedik, majd az érett fában állandósul. A jelenség fafajonként eltérő módon mutatkozik meg. Az általunk mért lombos fák esetében a juvenilis határt a bükk kivételével (bükknél: 18-20.) 10-14 évnél határoztuk meg. A fatestet felépítő sejtek arányaiban nem találtunk olyan eltérést, mely összefüggésbe hozható lenne a juvenilis fával. A sűrűségmérésnél nyár kivételével (itt ellenkező tendencia figyelhető meg) az összes vizsgált fafajnál a bélkörüli faanyag sűrűsége kisebb értékeket vett fel az érett fáéhoz viszonyítva. A nyomószilárdsági értékek a sűrűségi értékekkel mutattak szoros kapcsolatot. A hajlító-, ütő-hajlító, és húzószilárdságok tekintetében nem mutatható ki statisztikailag igazolható különbség a juvenilis fa és az érett fa között, bár megfigyelhető, hogy a bél körüli farész általában alacsonyabb szilárdsági értékekkel rendelkezik. A maximális zsugorodási értékeket megvizsgálva megállapítottuk, hogy a fatest nagy részén közel azonos értékek mérhetők, a maximális méretváltozások értékei mnem hozhatók összefüggésbe a juvenilis fa jelenlétével

## **MELLÉKLETEK**

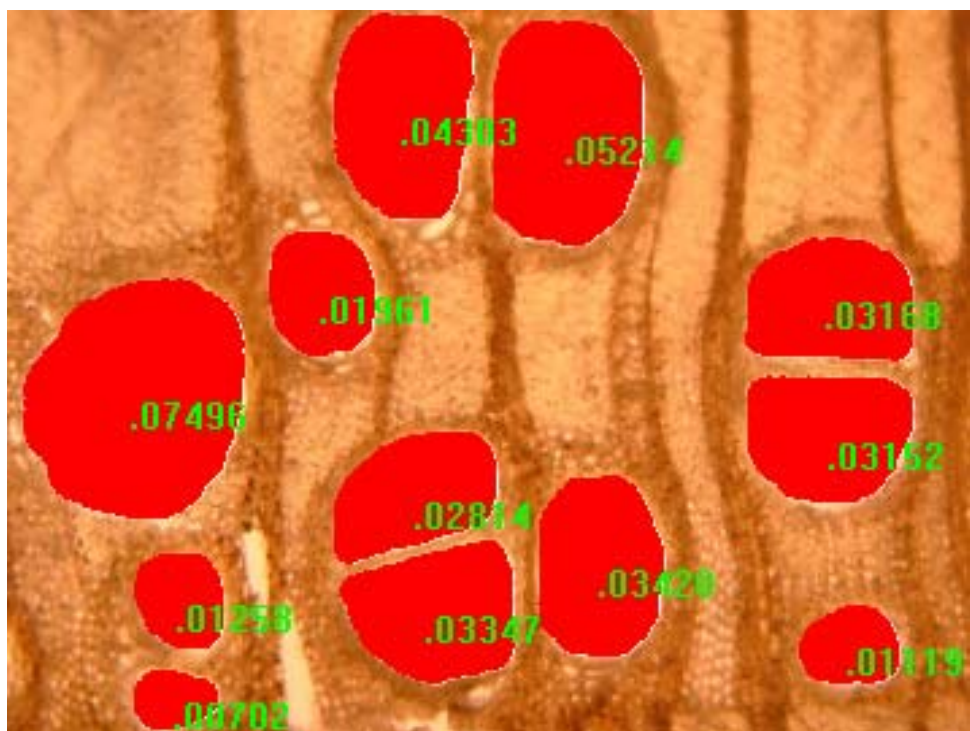


		első szám																													
	második szám	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15		-15/15	-14/15	-13/15	-12/15	-11/15	-10/15	-9/15	-8/15	-7/15	-6/15	-5/15	-4/15	-3/15	-2/15	-1/15	1/15	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15	14/15	15/15
14		-15/14	-14/14	-13/14	-12/14	-11/14	-10/14	-9/14	-8/14	-7/14	-6/14	-5/14	-4/14	-3/14	-2/14	-1/14	1/14	2/14	3/14	4/14	5/14	6/14	7/14	8/14	9/14	10/14	11/14	12/14	13/14	14/14	15/14
13		-15/13	-14/13	-13/13	-12/13	-11/13	-10/13	-9/13	-8/13	-7/13	-6/13	-5/13	-4/13	-3/13	-2/13	-1/13	1/13	2/13	3/13	4/13	5/13	6/13	7/13	8/13	9/13	10/13	11/13	12/13	13/13	14/13	15/13
12		-15/12	-14/12	-13/12	-12/12	-11/12	-10/12	-9/12	-8/12	-7/12	-6/12	-5/12	-4/12	-3/12	-2/12	-1/12	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	12/12	13/12	14/12	15/12
11		-15/11	-14/11	-13/11	-12/11	-11/11	-10/11	-9/11	-8/11	-7/11	-6/11	-5/11	-4/11	-3/11	-2/11	-1/11	1/11	2/11	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	12/11	13/11	14/11	15/11
10		-15/10	-14/10	-13/10	-12/10	-11/10	-10/10	-9/10	-8/10	-7/10	-6/10	-5/10	-4/10	-3/10	-2/10	-1/10	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10	13/10	14/10	15/10
9		-15/9	-14/9	-13/9	-12/9	-11/9	-10/9	-9/9	-8/9	-7/9	-6/9	-5/9	-4/9	-3/9	-2/9	-1/9	1/9	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9	9/9	10/9	11/9	12/9	13/9	14/9	15/9
8		-15/8	-14/8	-13/8	-12/8	-11/8	-10/8	-9/8	-8/8	-7/8	-6/8	-5/8	-4/8	-3/8	-2/8	-1/8	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8	9/8	10/8	11/8	12/8	13/8	14/8	15/8
7		-15/7	-14/7	-13/7	-12/7	-11/7	-10/7	-9/7	-8/7	-7/7	-6/7	-5/7	-4/7	-3/7	-2/7	-1/7	1/7	2/7	3/7	4/7	5/7	6/7	7/7	8/7	9/7	10/7	11/7	12/7	13/7	14/7	15/7
6		-15/6	-14/6	-13/6	-12/6	-11/6	-10/6	-9/6	-8/6	-7/6	-6/6	-5/6	-4/6	-3/6	-2/6	-1/6	1/6	2/6	3/6	4/6	5/6	6/6	7/6	8/6	9/6	10/6	11/6	12/6	13/6	14/6	15/6
5		-15/5	-14/5	-13/5	-12/5	-11/5	-10/5	-9/5	-8/5	-7/5	-6/5	-5/5	-4/5	-3/5	-2/5	-1/5	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5	6/5	7/5	8/5	9/5	10/5	11/5	12/5	13/5	14/5	15/5
4		-15/4	-14/4	-13/4	-12/4	-11/4	-10/4	-9/4	-8/4	-7/4	-6/4	-5/4	-4/4	-3/4	-2/4	-1/4	1/4	2/4	3/4	4/4	5/4	6/4	7/4	8/4	9/4	10/4	11/4	12/4	13/4	14/4	15/4
3		-15/3	-14/3	-13/3	-12/3	-11/3	-10/3	-9/3	-8/3	-7/3	-6/3	-5/3	-4/3	-3/3	-2/3	-1/3	1/3	2/3	3/3	4/3	5/3	6/3	7/3	8/3	9/3	10/3	11/3	12/3	13/3	14/3	15/3
2		-15/2	-14/2	-13/2	-12/2	-11/2	-10/2	-9/2	-8/2	-7/2	-6/2	-5/2	-4/2	-3/2	-2/2	-1/2	1/2	2/2	3/2	4/2	5/2	6/2	7/2	8/2	9/2	10/2	11/2	12/2	13/2	14/2	15/2
1		-15/1	-14/1	-13/1	-12/1	-11/1	-10/1	-9/1	-8/1	-7/1	-6/1	-5/1	-4/1	-3/1	-2/1	-1/1	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	7/1	8/1	9/1	10/1	11/1	12/1	13/1	14/1	15/1
-1		-15/-1	-14/-1	-13/-1	-12/-1	-11/-1	-10/-1	-9/-1	-8/-1	-7/-1	-6/-1	-5/-1	-4/-1	-3/-1	-2/-1	-1/-1	1/-1	2/-1	3/-1	4/-1	5/-1	6/-1	7/-1	8/-1	9/-1	10/-1	11/-1	12/-1	13/-1	14/-1	15/-1
-2		-15/-2	-14/-2	-13/-2	-12/-2	-11/-2	-10/-2	-9/-2	-8/-2	-7/-2	-6/-2	-5/-2	-4/-2	-3/-2	-2/-2	-1/-2	1/-2	2/-2	3/-2	4/-2	5/-2	6/-2	7/-2	8/-2	9/-2	10/-2	11/-2	12/-2	13/-2	14/-2	15/-2
-3		-15/-3	-14/-3	-13/-3	-12/-3	-11/-3	-10/-3	-9/-3	-8/-3	-7/-3	-6/-3	-5/-3	-4/-3	-3/-3	-2/-3	-1/-3	1/-3	2/-3	3/-3	4/-3	5/-3	6/-3	7/-3	8/-3	9/-3	10/-3	11/-3	12/-3	13/-3	14/-3	15/-3
-4		-15/-4	-14/-4	-13/-4	-12/-4	-11/-4	-10/-4	-9/-4	-8/-4	-7/-4	-6/-4	-5/-4	-4/-4	-3/-4	-2/-4	-1/-4	1/-4	2/-4	3/-4	4/-4	5/-4	6/-4	7/-4	8/-4	9/-4	10/-4	11/-4	12/-4	13/-4	14/-4	15/-4
-5		-15/-5	-14/-5	-13/-5	-12/-5	-11/-5	-10/-5	-9/-5	-8/-5	-7/-5	-6/-5	-5/-5	-4/-5	-3/-5	-2/-5	-1/-5	1/-5	2/-5	3/-5	4/-5	5/-5	6/-5	7/-5	8/-5	9/-5	10/-5	11/-5	12/-5	13/-5	14/-5	15/-5
-6		-15/-6	-14/-6	-13/-6	-12/-6	-11/-6	-10/-6	-9/-6	-8/-6	-7/-6	-6/-6	-5/-6	-4/-6	-3/-6	-2/-6	-1/-6	1/-6	2/-6	3/-6	4/-6	5/-6	6/-6	7/-6	8/-6	9/-6	10/-6	11/-6	12/-6	13/-6	14/-6	15/-6
-7		-15/-7	-14/-7	-13/-7	-12/-7	-11/-7	-10/-7	-9/-7	-8/-7	-7/-7	-6/-7	-5/-7	-4/-7	-3/-7	-2/-7	-1/-7	1/-7	2/-7	3/-7	4/-7	5/-7	6/-7	7/-7	8/-7	9/-7	10/-7	11/-7	12/-7	13/-7	14/-7	15/-7
-8		-15/-8	-14/-8	-13/-8	-12/-8	-11/-8	-10/-8	-9/-8	-8/-8	-7/-8	-6/-8	-5/-8	-4/-8	-3/-8	-2/-8	-1/-8	1/-8	2/-8	3/-8	4/-8	5/-8	6/-8	7/-8	8/-8	9/-8	10/-8	11/-8	12/-8	13/-8	14/-8	15/-8
-9		-15/-9	-14/-9	-13/-9	-12/-9	-11/-9	-10/-9	-9/-9	-8/-9	-7/-9	-6/-9	-5/-9	-4/-9	-3/-9	-2/-9	-1/-9	1/-9	2/-9	3/-9	4/-9	5/-9	6/-9	7/-9	8/-9	9/-9	10/-9	11/-9	12/-9	13/-9	14/-9	15/-9
-10		-15/-10	-14/-10	-13/-10	-12/-10	-11/-10	-10/-10	-9/-10	-8/-10	-7/-10	-6/-10	-5/-10	-4/-10	-3/-10	-2/-10	-1/-10	1/-10	2/-10	3/-10	4/-10	5/-10	6/-10	7/-10	8/-10	9/-10	10/-10	11/-10	12/-10	13/-10	14/-10	15/-10
-11		-15/-11	-14/-11	-13/-11	-12/-11	-11/-11	-10/-11	-9/-11	-8/-11	-7/-11	-6/-11	-5/-11	-4/-11	-3/-11	-2/-11	-1/-11	1/-11	2/-11	3/-11	4/-11	5/-11	6/-11	7/-11	8/-11	9/-11	10/-11	11/-11	12/-11	13/-11	14/-11	15/-11
-12		-15/-12	-14/-12	-13/-12	-12/-12	-11/-12	-10/-12	-9/-12	-8/-12	-7/-12	-6/-12	-5/-12	-4/-12	-3/-12	-2/-12	-1/-12	1/-12	2/-12	3/-12	4/-12	5/-12	6/-12	7/-12	8/-12	9/-12	10/-12	11/-12	12/-12	13/-12	14/-12	15/-12
-13		-15/-13	-14/-13	-13/-13	-12/-13	-11/-13	-10/-13	-9/-13	-8/-13	-7/-13	-6/-13	-5/-13	-4/-13	-3/-13	-2/-13	-1/-13	1/-13	2/-13	3/-13	4/-13	5/-13	6/-13	7/-13	8/-13	9/-13	10/-13	11/-13	12/-13	13/-13	14/-13	15/-13
-14		-15/-14	-14/-14	-13/-14	-12/-14	-11/-14	-10/-14	-9/-14	-8/-14	-7/-14	-6/-14	-5/-14	-4/-14	-3/-14	-2/-14	-1/-14	1/-14	2/-14	3/-14	4/-14	5/-14	6/-14	7/-14	8/-14	9/-14	10/-14	11/-14	12/-14	13/-14	14/-14	15/-14
-15		-15/-15	-14/-15	-13/-15	-12/-15	-11/-15	-10/-15	-9/-15	-8/-15	-7/-15	-6/-15	-5/-15	-4/-15	-3/-15	-2/-15	-1/-15	1/-15	2/-15	3/-15	4/-15	5/-15	6/-15	7/-15	8/-15	9/-15	10/-15	11/-15	12/-15	13/-15	14/-15	15/-15

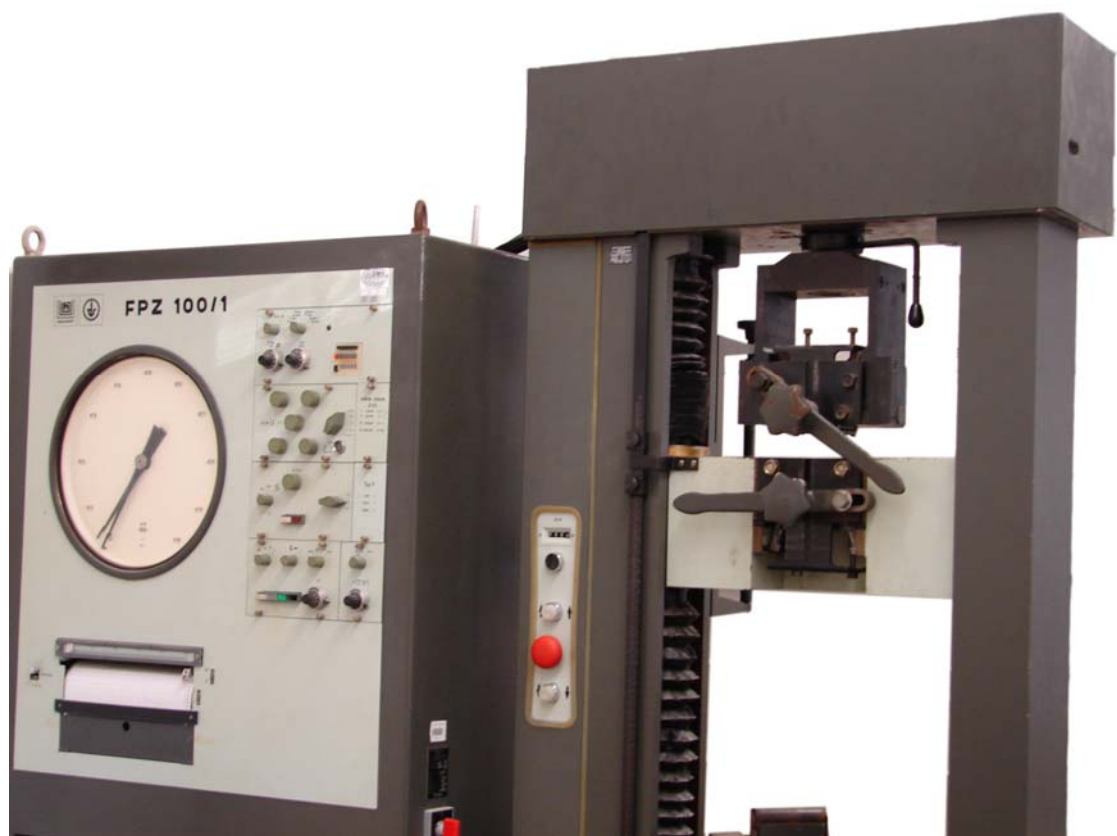
1. melléklet Jelölési rendszer



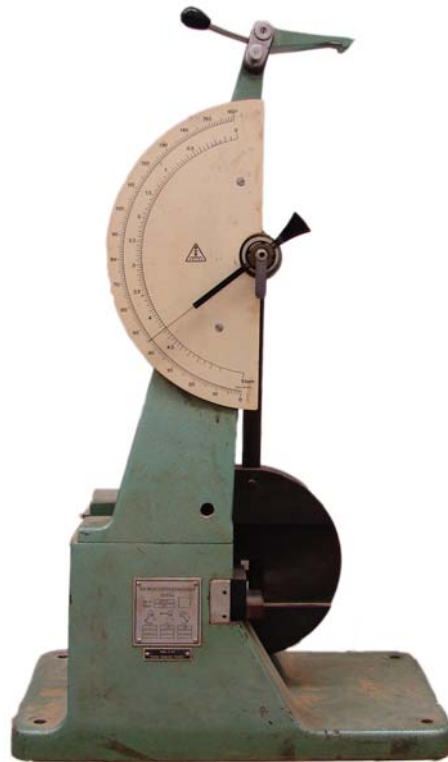




3. melléklet Sejtek méretének megállapítása mérőprogrammal



4. melléklet FPZ 100/1-es általános anyagvizsgáló berendezés



5. melléklet Charpy inga



hajlító



húzó



ütő-hajlító



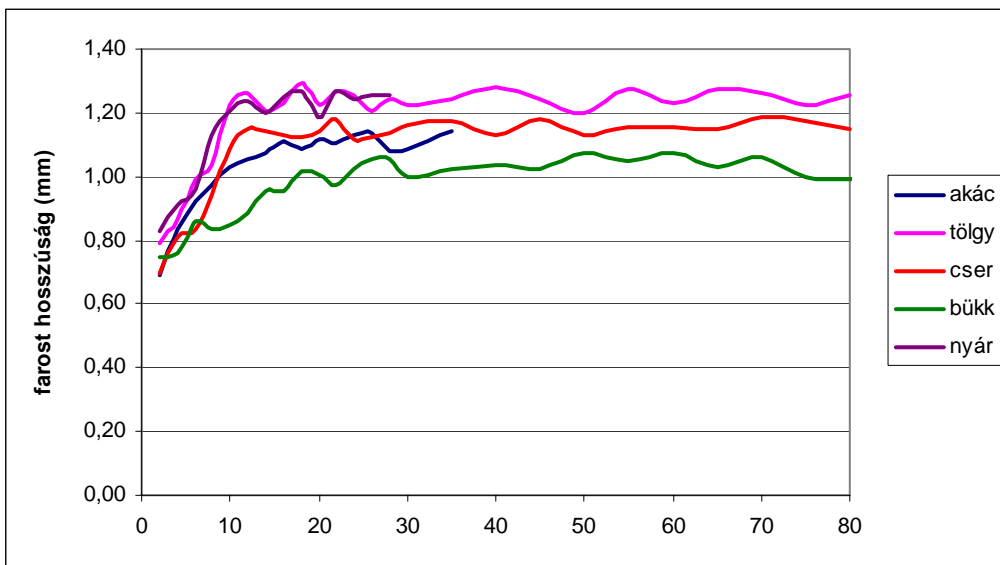
sűrűség,  
zsugorodás



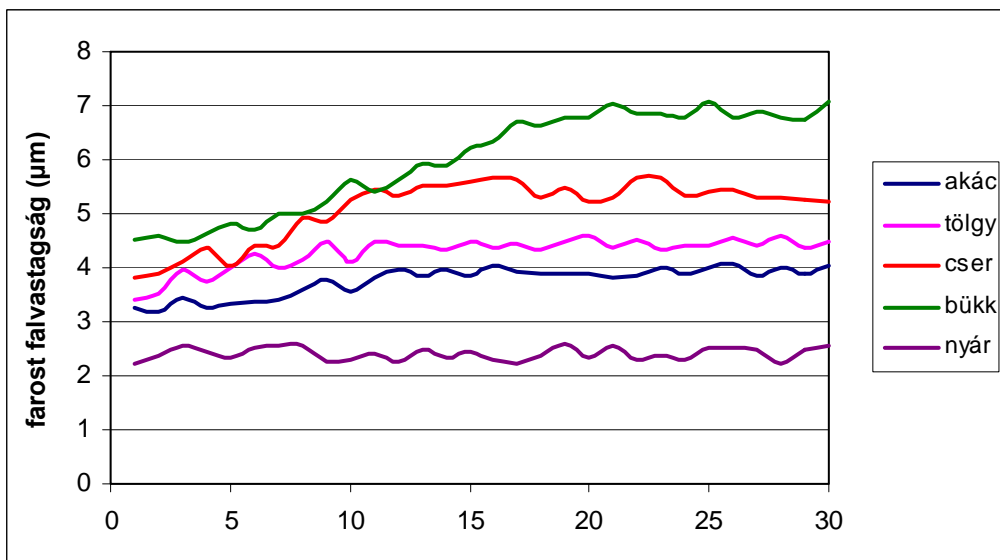
nyomó

6. melléklet A különböző szilárdság mérési próbatestek vizsgálat előtt és után

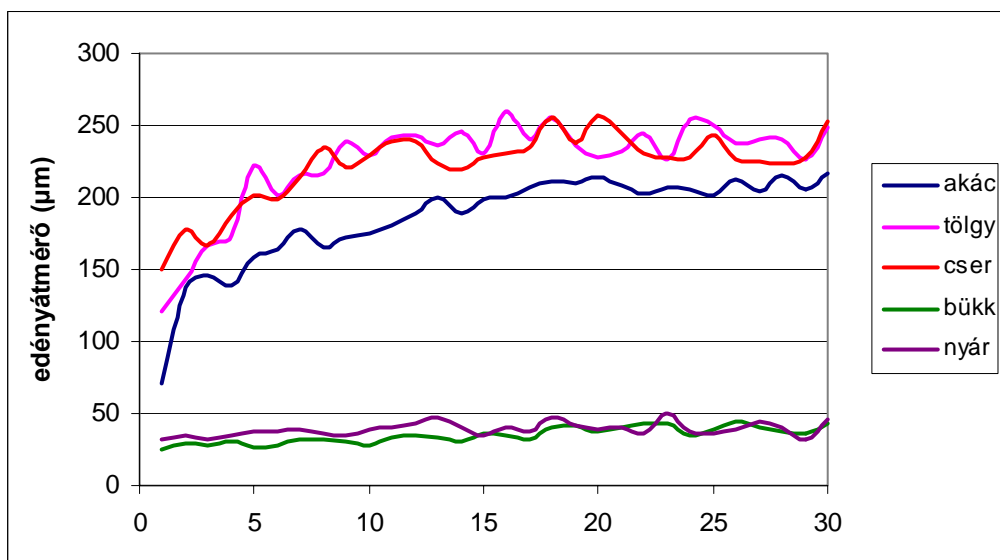
## ÁBRÁK



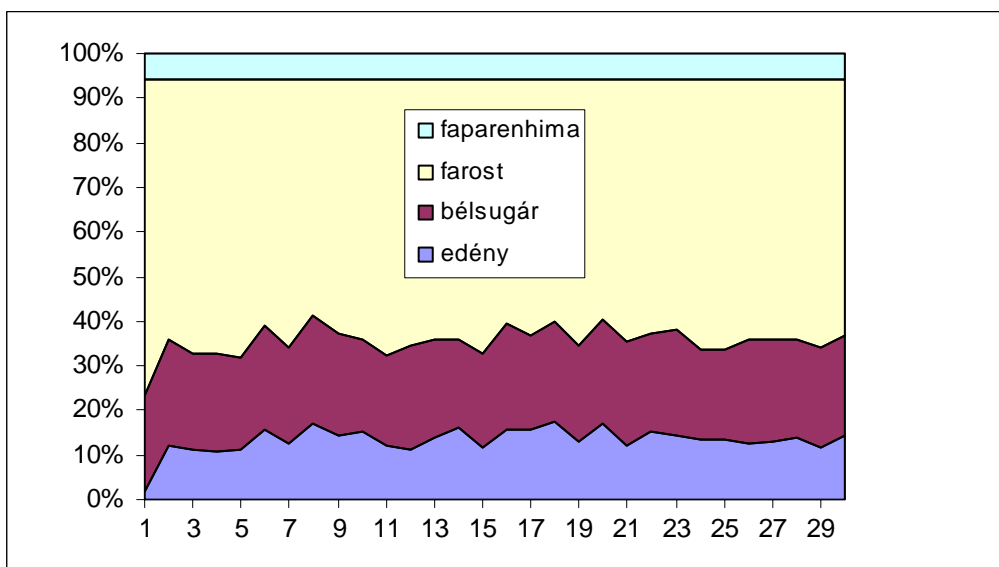
1. ábra Átlagos farost hosszúság értékei az első 30 évyűrűben



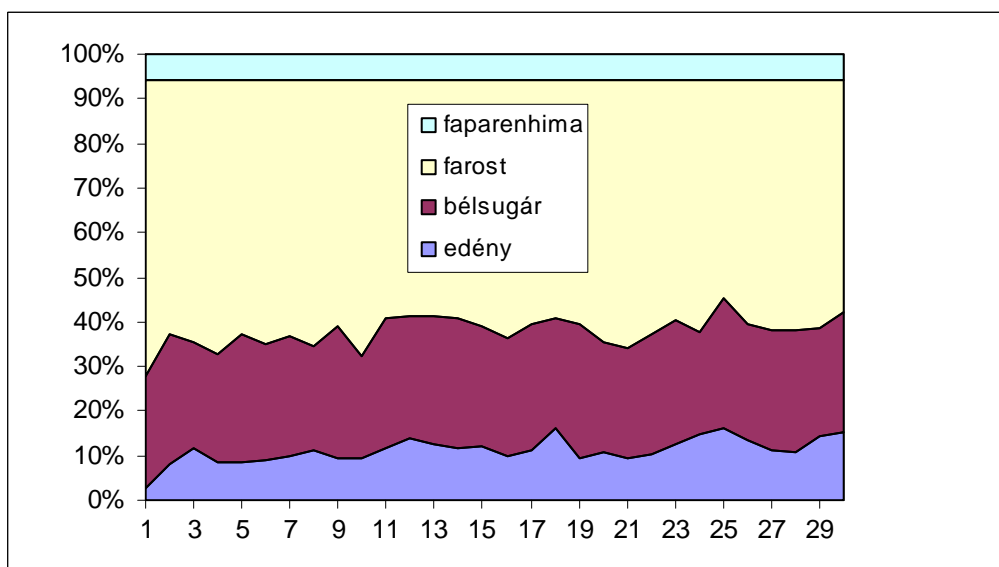
2. ábra Átlagos farost falvastagság értékei az első 30 évyűrűben



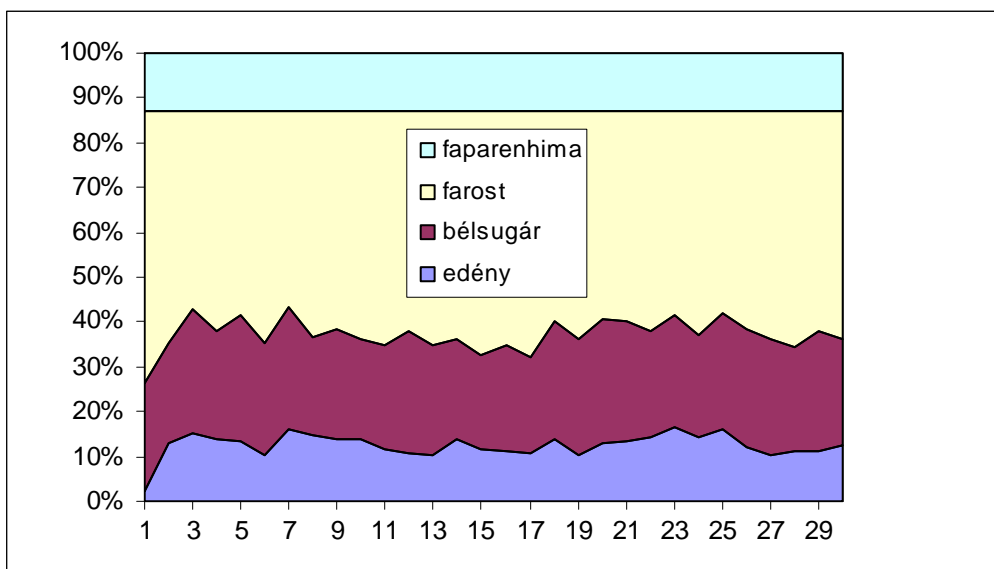
**3. ábra** Átlagos edény átmérők értékei az első 30 évyűrűben



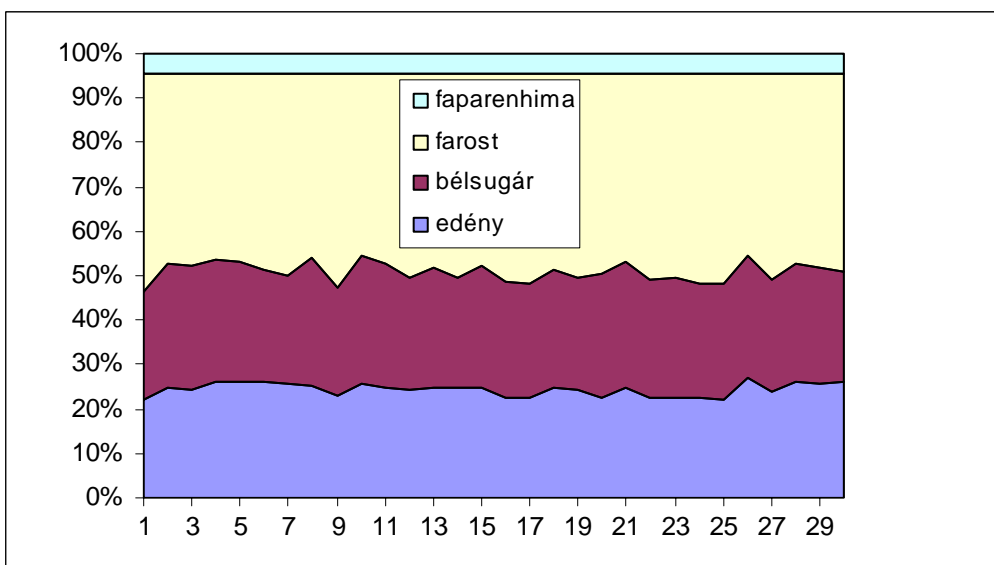
**4. ábra** Főbb alkotó sejtek %-os értékei akácnál az első 30 évyűrűben



**5. ábra** Főbb alkotó sejtek %-os értékei kocsánytalan tölgyenél az első 30 évyűrűben

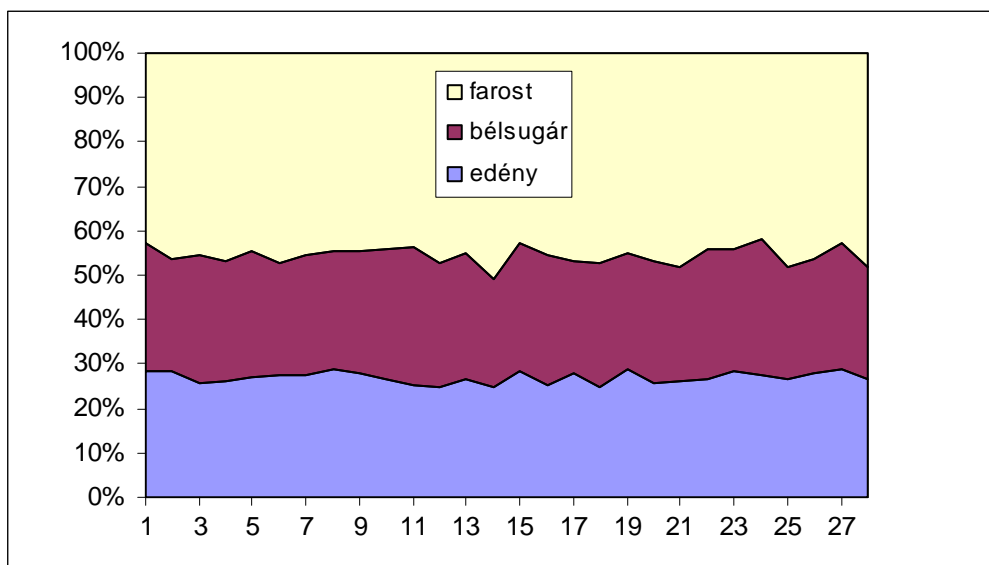


6. ábra Főbb alkotó sejtek %-os értékei csertölgynél az első 30 évgyűrűben

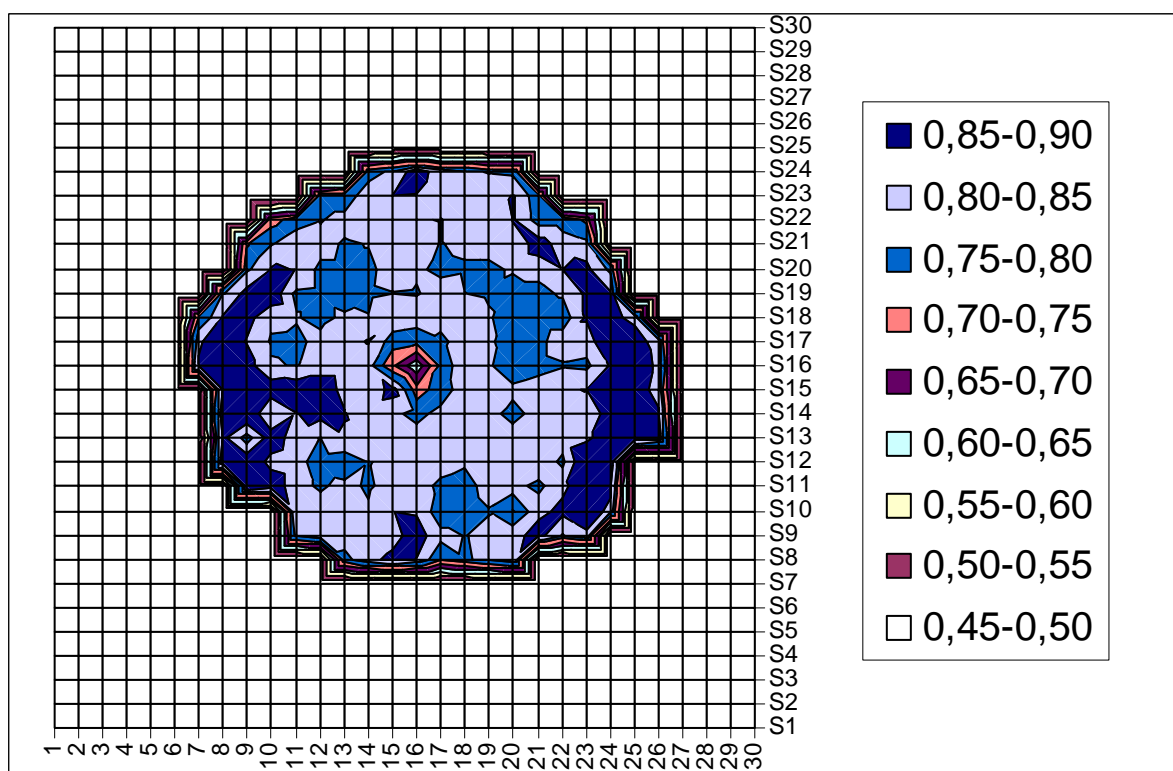


7. ábra Főbb alkotó sejtek %-os értékei bükknél az első 30 évgyűrűben

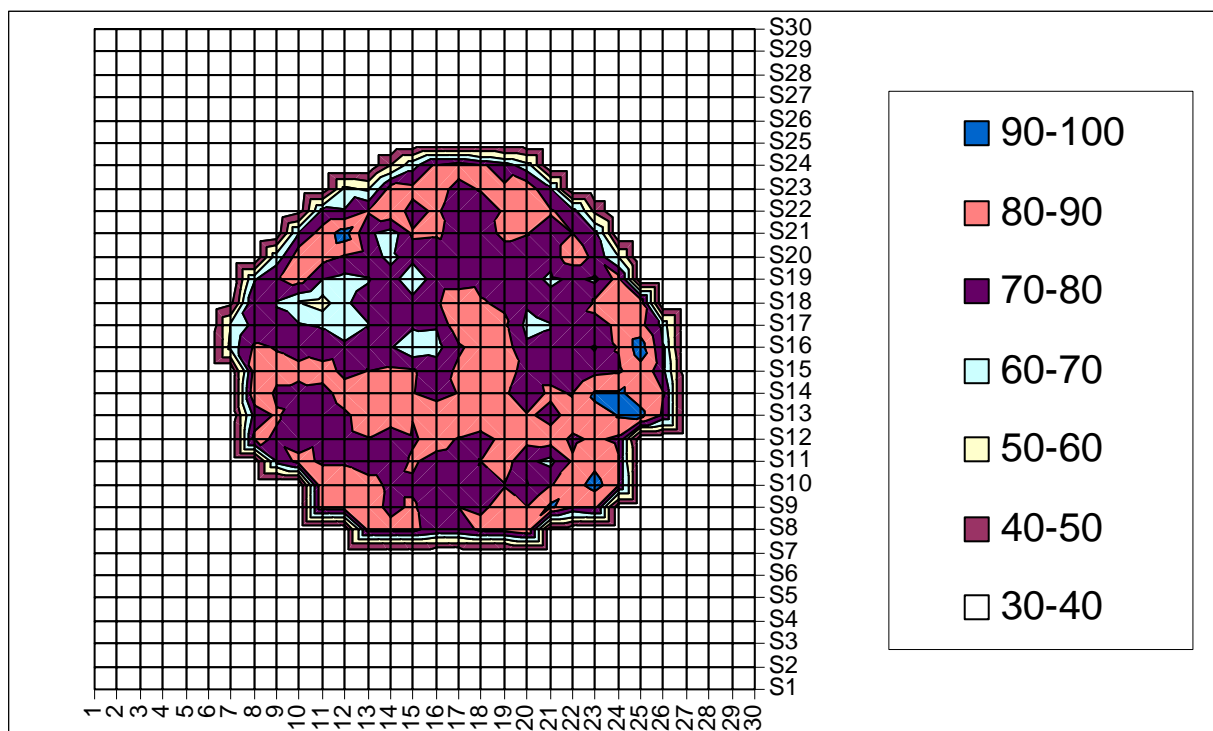




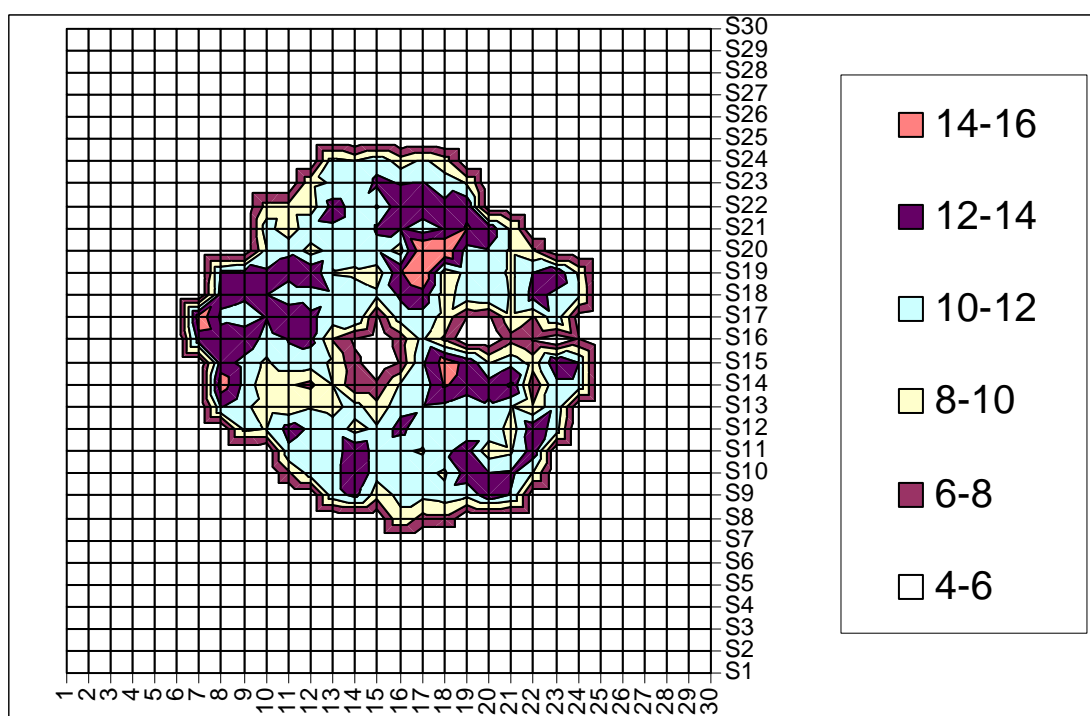
8. ábra Főbb alkotó sejtek %-os értékei nyárnál az első 28 évgűrűben



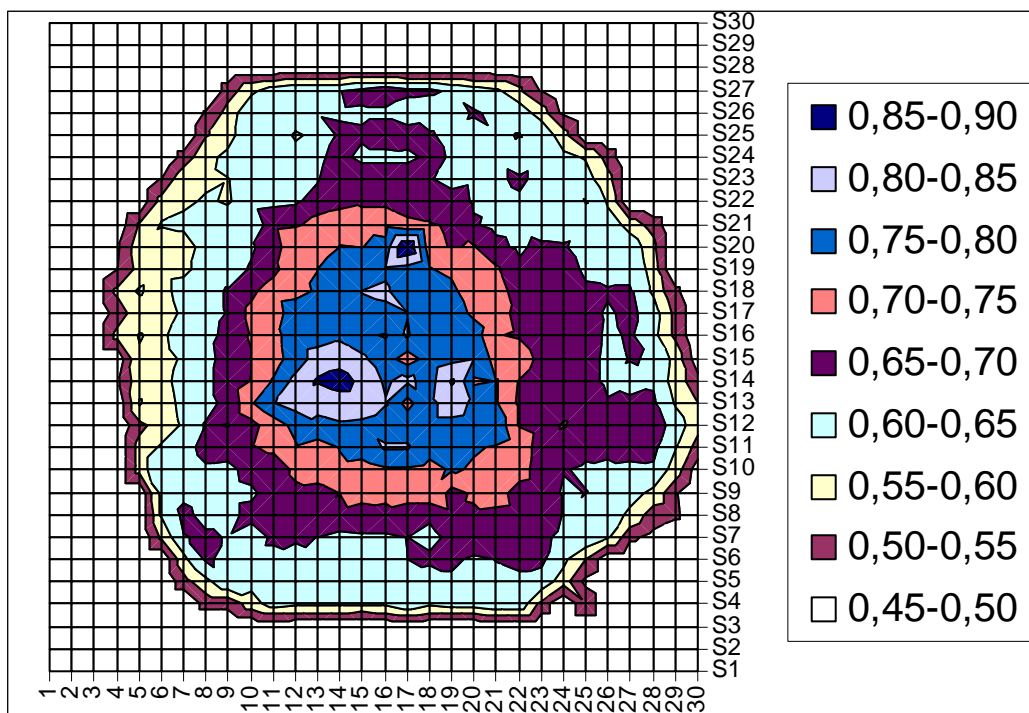
9. ábra Akác sűrűség (g/cm<sup>3</sup>) eloszlásának keresztmetszeti képe



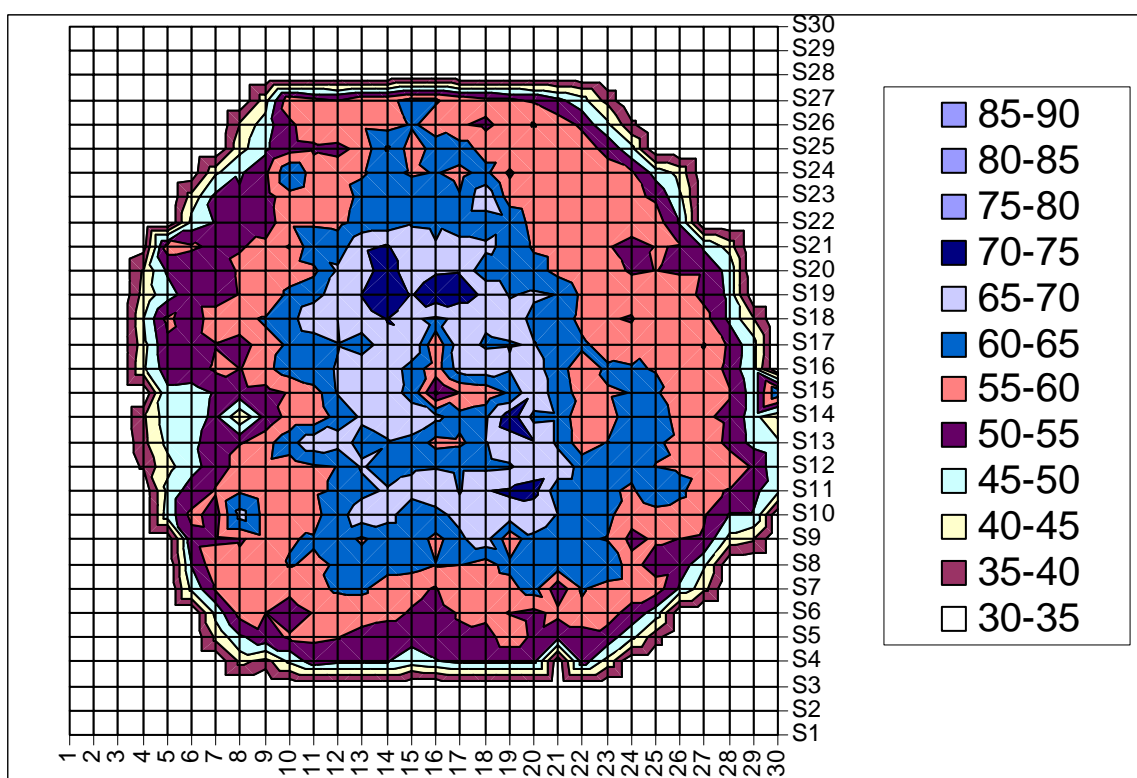
10. ábra Akác nyomószilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe



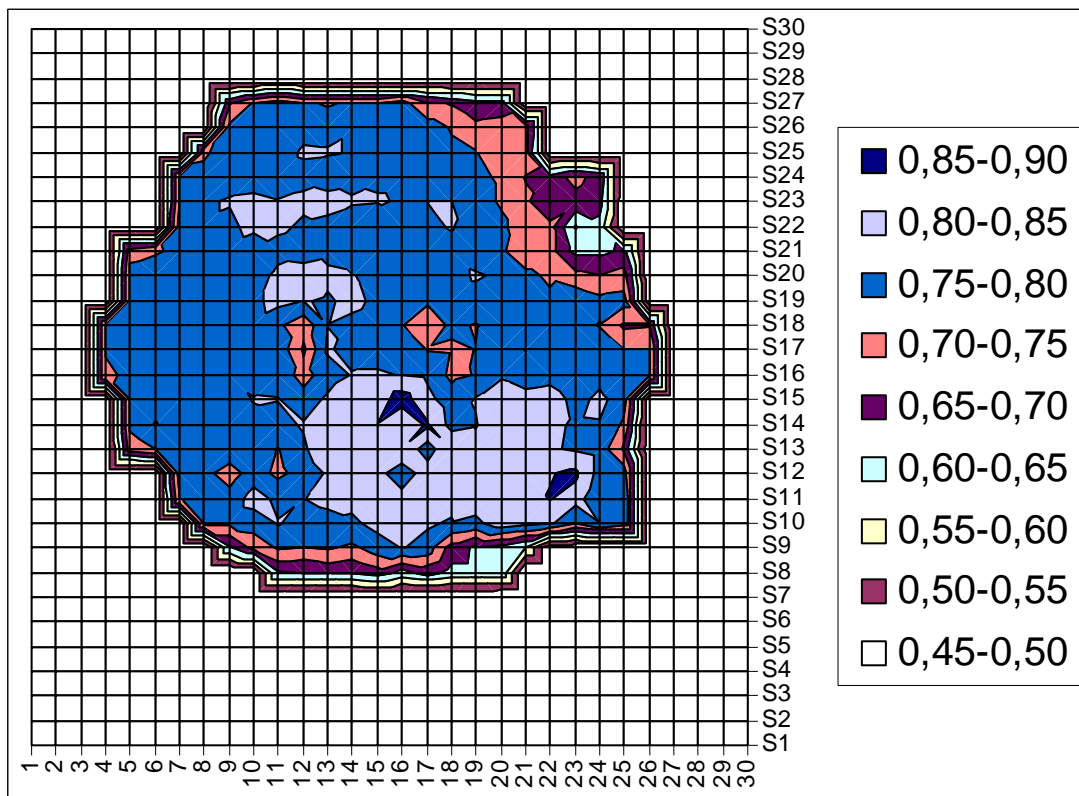
11. ábra Akác ütéshajlító szilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe



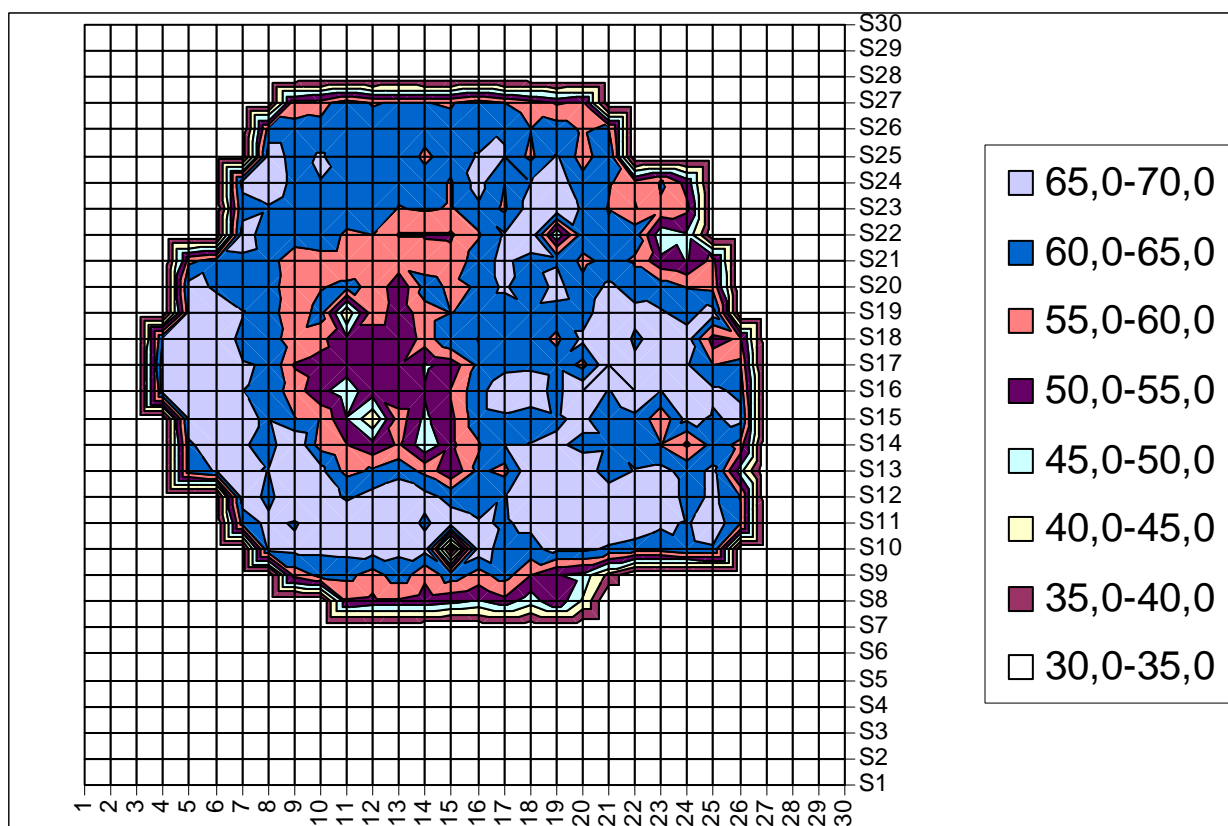
12. ábra Kocsánytalan tölgy sűrűség (g/cm<sup>3</sup>) eloszlásának keresztmetszeti képe



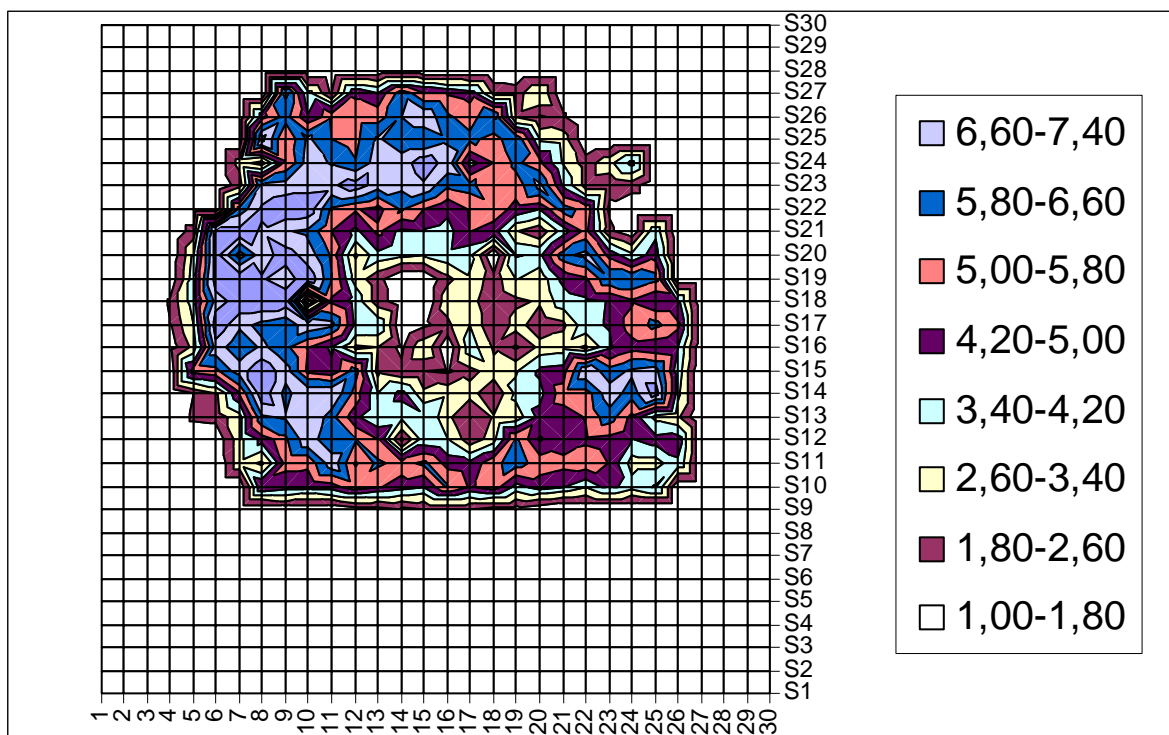
13. ábra Kocsánytalan tölgy nyomószilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe



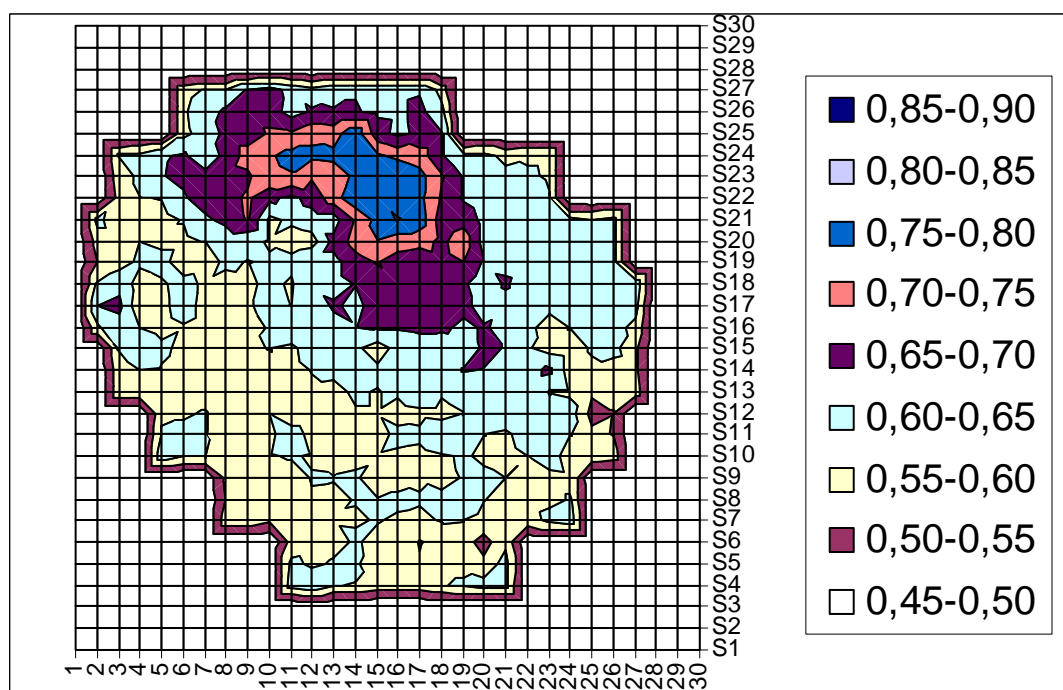
14. ábra Csirtölgy sűrűség (g/cm<sup>3</sup>) eloszlásának keresztmetszeti képe



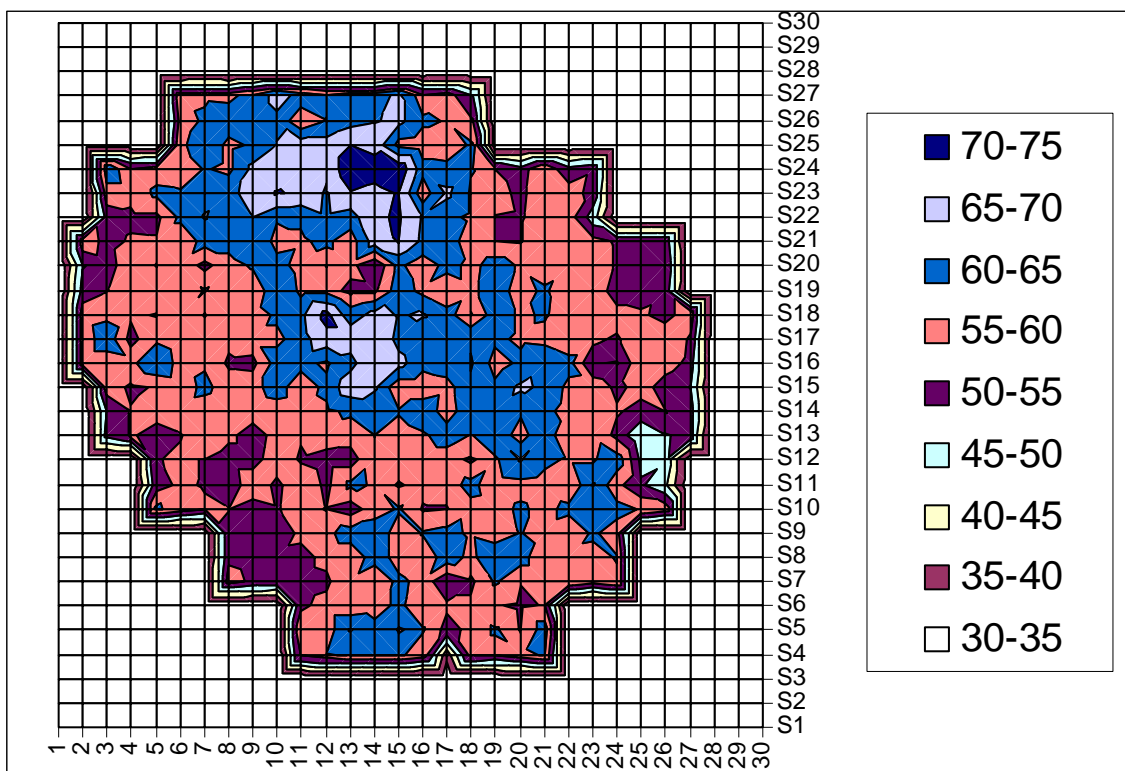
15. ábra Csirtölgy nyomószilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe



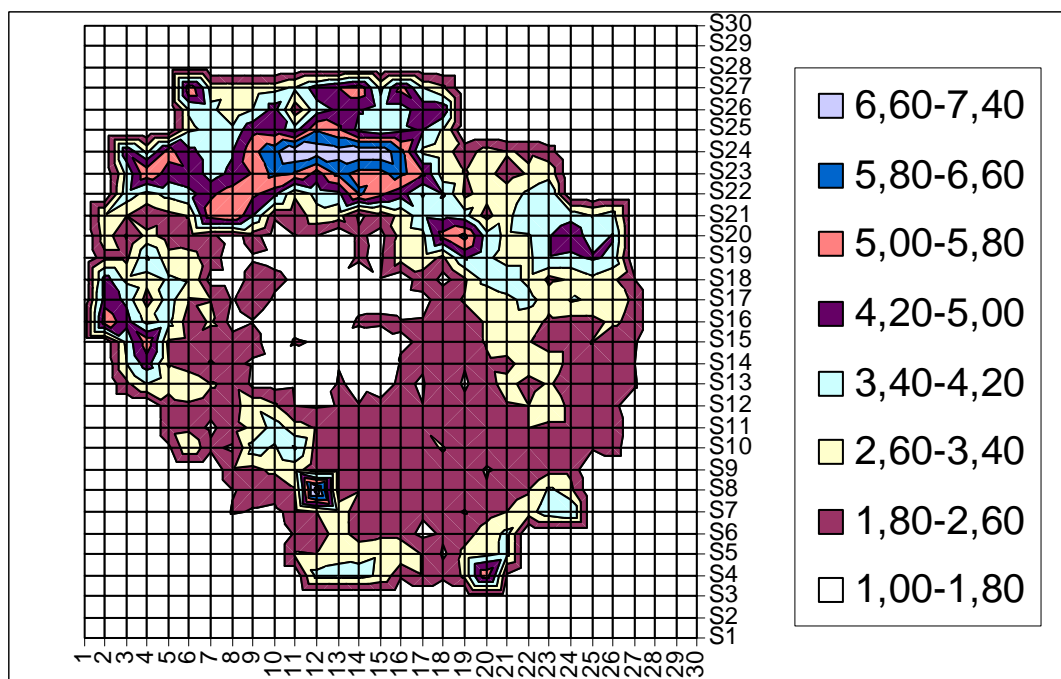
16. ábra Csértölgy ütő-hajlító szilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe



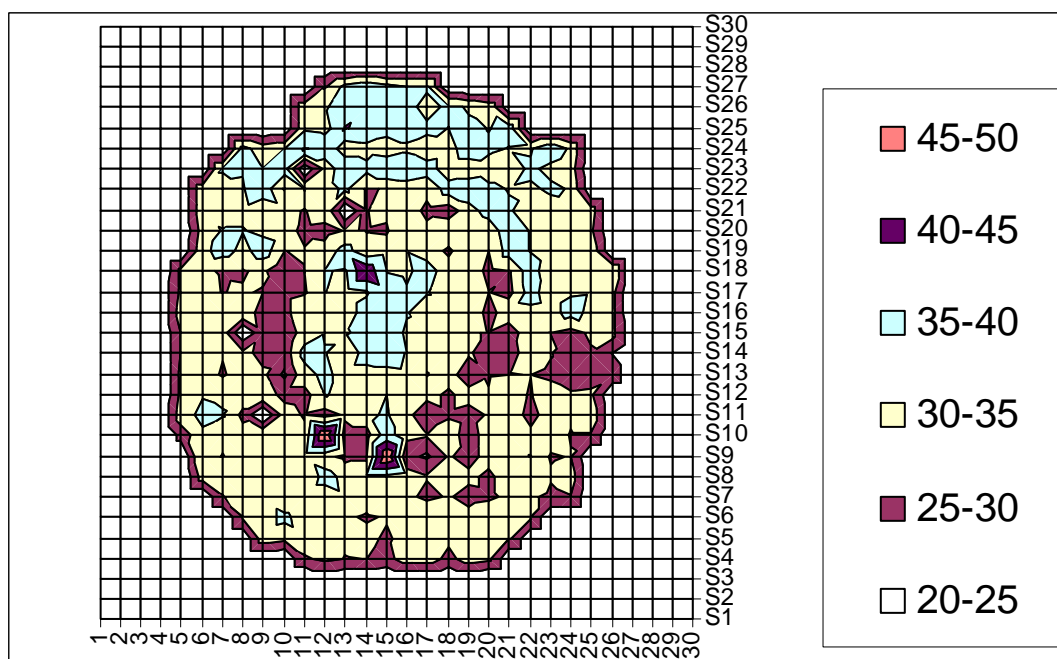
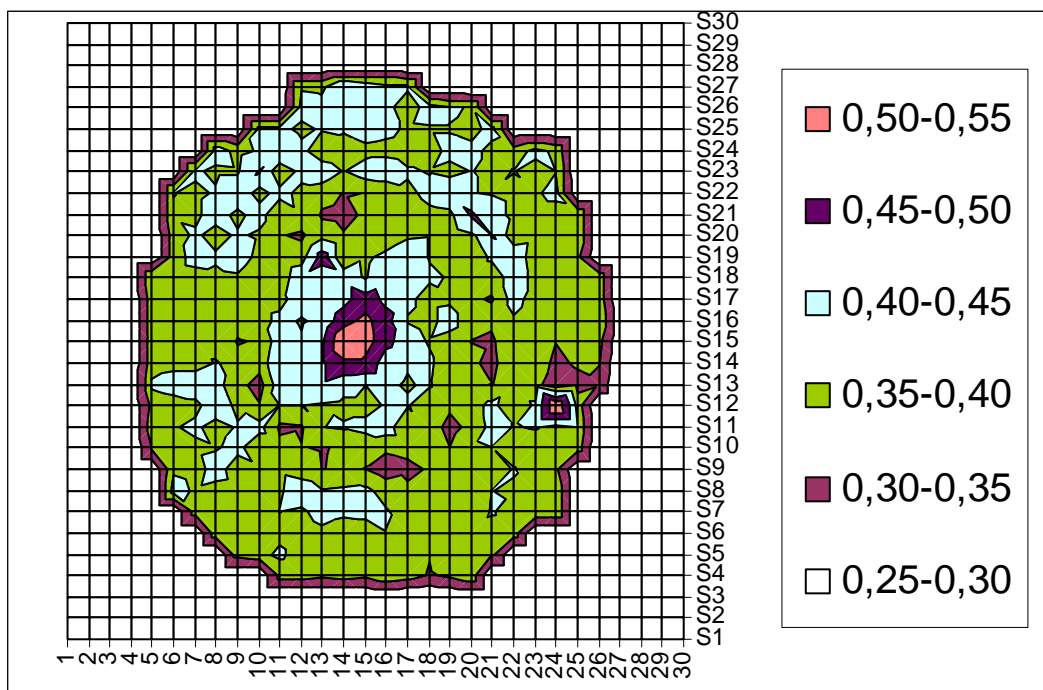
17. ábra Bükk sűrűség (g/cm³) eloszlásának keresztmetszeti képe

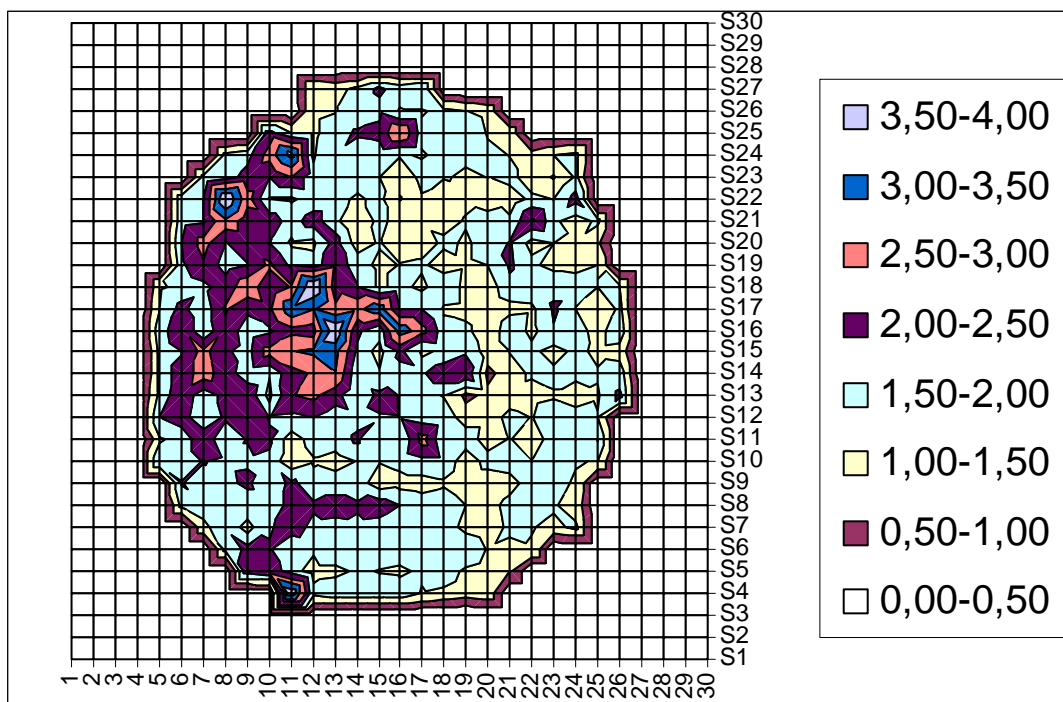


18. ábra Bükk nyomószilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe



19. ábra Bükk ütéshajlító szilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe





22. ábra Nyár ütő-hajlító szilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe